

무선 신체 망에서 세미-마르코프 모델을 이용한 다중 오류에 대한 모델링 및 분석

준회원 왕 송*, 천 승 만*, 종신회원 박 종 태*

Modeling and Analysis of Multi-type Failures in Wireless Body Area Networks with Semi-Markov Model

Wang Song*, Seung-Man Chun* Associate Members, Jong-Tae Park* Lifelong Member

요 약

무선 신체망 (WBAN: Wireless Body Area Network)은 생체 신호를 검출하고 전송하기 때문에 인간의 생명과 직결 되어 있다. 그러므로 무선 신체망은 다른 망과 비교해 망의 신뢰성이 극도로 높아야 하기 때문에 이 신뢰성과 관련된 연구가 매우 중요한 분야로 부각되고 있다. 본 논문에서는 다중 오류 (multi-type failures) 가 발생한 무선 신체망에서 노드의 오동작들에 대해 분석하고 오동작 분석에 대한 새로운 모델을 제시한다. 오동작 모델링을 위해, 각 노드들을 라우팅 기능의 유무에 따라 분류하고, 노드의 에너지가 완전 소비되었거나 노드가 악의적인 공격에 의해 오류가 발생되었을 경우 각 노드들의 동작을 세미 마르코프 프로세스 (Semi-Markov Process)를 이용하여 모델링하였다. 본 논문에서 제시된 모델은 다중 오류 (multi-type failures) 환경에서 무선신체망의 신뢰성 분석에 매우 유용하다.

Key Words : Failure Analysis and Modeling, Fault and Security Management, Wireless Body Area Network

ABSTRACT

The reliability of wireless body area networks is an important research issue since it may jeopardize the vital human life, unless managed properly. In this article, a new modeling and analysis of node misbehaviors in wireless body area networks is presented, in the presence of multi-type failures. First, the nodes are classified into types in accordance with routing capability. Then, the node behavior in the presence of failures such as energy exhaustion and/or malicious attacks has been modeled using a novel Semi-Markov process. The proposed model is very useful in analyzing reliability of WBANs in the presence of multi-type failures.

I. 서 론

U-헬스케어 (유비쿼터스-헬스케어) 서비스는 보건 의료 산업 부양에 있어 하나의 해결책으로 제시 되고 있다. U-헬스케어 서비스에서 생체 정보를 다루기 때문에 데이터 전달 및 전송에 있어서 패킷 손

실이나 패킷 오류가 발생되었을 경우 생체 정보의 신뢰성에 치명적인 영향을 줄 수 있다. 신뢰성 있는 U-헬스케어 서비스를 지원하기 위한 하나의 방안은 모든 컴포넌트들을 네트워크에 연결하는 것이다^[1]. U-헬스케어 서비스를 위해 생체 신호(Bio-Signal)를 측정하고 측정된 데이터를 전송 할 수 있는 무선

* 본 연구는 지식 경제부 및 대학 IT연구 센터 지원사업의 연구 결과 및 2단계 BK21 프로젝트에 의해 수행되었음 (IITA-2008-(1090080 40002-0001000100100))

* 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 정보통신망 신기술 연구실 (swang@ain.knu.ac.kr, smchun@ain.knu.ac.kr, jtpark@ee.knu.ac.kr)
논문번호 : KICS2009-07-285, 접수일자 : 2009년 7월 7일, 최종논문접수일자 : 2009년 9월 14일

신체 망에 대한 연구가 활발히 진행 되고 있다. 무선 신체망은 무선 인터페이스를 가진 여러 개의 센서들과 액추에이터(A-ctuators)들로 구성되며, PDA, 스마트폰, 넷 북 등 과 같은 장비를 싱크 노드로 사용할 수 있다. 이 싱크노드는 센서로 부터 정보를 전송받고 외부 네트워크로 정보를 전달하는 게이트웨이(Gateway)의 역할을 한다²¹.

네트워크 신뢰성은 네트워크에 결함이 발생했을 때, 혹은 외부로부터 네트워크가 공격 받았을 때 지속적으로 연결을 유지하는 능력을 말한다. 무선 신체망의 경우 생체 정보의 수집 및 전송을 수행하여야 하기 때문에 네트워크의 신뢰성은 매우 중요한 문제이다. 하지만, 무선 신체 망에서 신뢰성에 관한 문제는 별다른 연구가 진행되지 않았다.

마크코프 체인은 공학, 물리학, 사회 과학, 경영학에서 사건을 모델하기 위해 널리 사용된다²³. 세미-마크코프 프로세스는 마르크코프 보다 응용 프로그램에는 더욱 일반적이고 적용하기가 쉽다. 이유는 어떠한 상태에서 마르크코프 경우 기하적으로 분산된 체류 시간에 대립하여 세미 마르크코프 프로세스에서의 체류시간(sojourn time)은 임의 적으로 분산될 수 있기 때문이다. 이 모델들은 신뢰성 연구와 DNA 분석에 특별히 적용 되었다²⁴. 애드 학(ad-hoc) 네트워크에 있어서 노드 오류와 링크의 상태의 모델링 및 분석을 제안하였다^{11,22}. 이탈 행동 노드(Misbehavior node)에 대해 분석한 새로운 세미 마르크코프 프로세스를 제안 하였다¹¹. 무선 신체 망을 위한 패스 분실과 전력, 지연, 프로파일, 채널에 대한 모델을 제안했다²⁵. 하지만 이 논문은 노드의 실패에 대해서는 어떤것도 언급하지 않았다. 표준 CMOS 기술을 완전히 통합 할 수 있는 새로운 저 전력 UWB 송신기를 센서 노드의 전력소비를 고려하여 제시 하였다²⁶.

G.G Wang은 네트워크 노드 오류를 가진 메쉬 네트워크에 대한 연결성을 계산하기 위한 모델을 제시 하였다^{27,28}. 무선 신체 망의 전력과 응용에 대해 제시 하였다^{29,111}. UWB 주파수 대역에서 무선 신체망을 위한 채널 모델을 제시하였고, 또한 유도 채널 모델을 사용하여 성능 평가 한 것을 제시 하였다¹². 하지만 이 두 모델과 성능 평가는 노드의 오류에 대해서는 다루지 않았다. 본 논문에서 다루고자 하는 무선 신체망에 대한 연구에 대해서는 어떠한 것도 다루고 있지 않다. 본 논문은 [1]에서 다른 모델을 확장하였다. 특히 이 논문에서는 무선 신체 망에 있어서 기능에 따라 노드의 형태를 분류한

다¹¹. 그리고 노드 각각의 형태의 상태를 정의 한다. 클러스터화 된 무선 센서 네트워크에서 신뢰성 향상을 위해 클럭 동기화 방법을 제안하고 있다⁹.

지그비 망에서 신뢰성 있는 메시지 전송 방법을 정의하고 있다¹⁰. 센서에서 측정된 값에 대한 오류를 감지하고 교정할 수 있는 분산 베이지안 알고리즘을 제시하고 있다¹¹.

본 논문에서는 무선 신체 망에서 발생하는 노드의 오동작을 모델링하고 그에 대한 분석을 제시하였다. 이를 위해 노드는 라우팅 기능에 따라 크게 세 종류로 분류하고 이들 노드의 동작은 세미 마르크코프 프로세스를 사용하여 모델링 하였다. 제안된 모델은 무선 신체 망에서 노드의 에너지가 완전 소모되었거나 노드가 악의적x신체격에 의해 오류가 발생 되었을 경우 노드의 신뢰성 분석에 유용하다. 마지막으로, 제안된 모델에 대해 시뮬레이션과 수학적인 결과로서 증명한다.

이 논문의 나머지 부분은 다음과 같이 구성된다. II장에서는 노드를 기능별로 분류하고, 다중 오류(Multi-type failures)를 가진 노드에 대해 모델링 한다. III장에서는 노드의 다중 오류를 모델링하기 위해 세미-마크코프 모델을 제시한다. IV장에서는 시뮬레이션을 제안하고 마지막으로, 세션 5에서 결론을 내린다.

II. 무선 신체망에서 신뢰성 관리를 위한 다중 오류를 가진 노드 모델링

2.1 무선 신체 망의 노드 정의

멀티-홉 무선 신체망에서 사용하는 전형적인 프로토콜(WASP¹¹¹, EEMAP¹²², LDP²²)에서는 센서 노드를 두 형태로 분류한다.

- NO로 표현되는 라우팅 기능 없는 센서 노드 : 이 노드는 트리의 종단에 위치하게 된다. 이것은 신체의 생체 신호를 검출 할 수 있지만 라우터로서의 기능을 수행 할 수 없다.
- NR로 표현되고 라우팅 기능을 가지고 있는 센서 노드 : 생체 신호를 검출하고 메시지 송수신과 같은 라우터의 역할을 동시에 수행 할 수 있다.
- NG로 표현되는 싱크 노드는 다른 네트워크로 데이터 전송하기 위한 게이트웨이 역할을 수행 한다.

2.2 다중 오류를 가진 노드의 모델링

무선 신체망은 N으로 표기되는 다중노드(Multi-types of nodes)와 노드의 오류(failures of nodes)가 유발되는 동적 시스템이기 때문에 복잡하다. 노드는 멀티-홉 무선 신체 망에서 기능에 따라 아래와 같이 표현 된다.

- G: 신체로부터 생체 신호를 검출 하고, 그 정보를 다음 노드로 전송 할 수 있는 노드의 기능 즉 G 기능을 가졌다고 말한다.
- R: 다른 노드들로 데이터를 전달 할 수 있는 노드의 기능 즉 R기능을 가졌다고 말한다. 이것은 무선 신체 망에서 멀티-홉-트리를 위한 중요한 요소 중 하나이다.
- E: 다른 노드를 공격하는 경우 E 기능을 가졌다고 말한다. 이 기능을 가진 노드는 다른 노드들에 오류 데이터를 전송하거나 일반 채널에 영향을 준다.

공식적인 유형을 제공하기 위한 지표함수(1)는 노드가 A기능 수행 여부를 확인하기 위해 사용한다. 예를 들어, 주어진 노드 s , $I_G(s) = 1$ 은 노드는 신체로부터 생체 신호 검출이 가능 하는 것을 의미한다.

$$I_A(s) = \begin{cases} 1, & \text{if } s \text{ has a function } A \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

무선 신체 망에서 노드의 상태에 대해 지표함수를 사용하여 분류를 하게 되면 아래와 같이 표기 된다.

- NO_C 으로 표기되는 협동노드(cooperative node)는 신체의 생체 신호를 검출 할 수 있고 다른 노드로 전송 할 수 있는 노드를 말한다. 이 노드는 $NO_C \equiv \{s \in N, | I_G(s) = 1, I_E(s) = 0\}$ 로 표현된다.
- NO_F 로 표기되는 오류 노드(failed node)는 생체 신호나 정보를 수집 할 수 없고 다른 노드로 전달 할 수도 없는 노드를 말한다. 이 노드는 $NO_F \equiv \{s \in N, | I_G(s) = 1, I_E(s) = 0\}$ 로 표현된다.
- NO_M 으로 표기되는 공격 노드는 다른 노드를 악의적인 공격을 하는 노드를 말한다. 이 노드

는 $NO_M \equiv \{s \in N, | I_E(s) = 1\}$ 로 표현된다.

라우팅 기능을 가진 센서 노드에 대해 아래와 같이 정의된다.

- NR_C 에 의해 표기되는 협동 노드는 생체 신호를 검출을 통해 다음 노드로 전달하고 다른 노드로 방향을 변경하여 전달할 수 있는 기능이 수행 가능한 노드를 말한다. 이 노드는 $NR_C \equiv \{s \in N, | I_G(s) = 1, I_R(s) = 1\}$ 로 표현된다.
- NR_F 로 표기되는 오류 노드는 에너지가 완전 소비되었거나 노드가 악의적인 공격들에 의해 다른 노드로 생체 정보 수집하거나, 전달 기능을 수행하지 못하는 노드를 말한다. 이 노드는 $NR_F \equiv \{s \in N | I_G(s) = 0, I_R(s) = 0\}$ 로 표현된다.
- NR_S 로 표기되는 이기적인 노드는 생체 신호를 검출하거나 다른 노드로 정보를 전달 기능을 가진다. 하지만 이 노드는 노드 자체에 대한 에너지 절약 또는 전력의 완전 소비되었기 때문에 다른 노드의 정보를 전달 할 수 없다. 이 노드는 $NR_S \equiv \{s \in N | I_G(s) = 1, I_R(s) = 0\}$ 로 표현된다.
- NR_R 로 표기되는 라우터 노드는 다른 노드로 발송 할 수 있다. 하지만 센서 오류 때문에 생체 신호를 검출 할 수 없다. 이 노드는 $NR_R \equiv \{s \in N | I_G(s) = 0, I_R(s) = 1\}$ 로 나타낼 수 있다. 싱크 노드는 통상적으로 PDA, 스마트폰 또는 넷 북 등의 단말기에서 이 기능을 수행한다.
- NG_C 로 표시되는 협동 노드는 생체 신호를 수집 할 수 있다. 그리고 인터넷으로 그 정보를 전송 할 수 있다. 이 노드는 $NG_C \equiv \{s \in N | I_R(s) = 0\}$ 로 표현된다.
- NG_F 로 표시되는 오류 노드는 다른 노드로 발송 할 수 없다. 이 노드는 $NG_F \equiv \{s \in N | I_R(s) = 0\}$ 로 표현된다.

주로 무선 신체 망에서 노드의 기능에 따라 분류한다. 노드의 오작동은 주로 센서 오류로 인해 패킷을 전달하지 못하는 경우에 비정상적인 오류

로 간주 한다.

III. 세미-마르코프 모델

무선 신체 망에서 노드의 오동작에 대해 고려하지 않은 노드는 간단히 정상 또는 오류로 간단히 정의될 수 있다. 그렇지만 오동작 노드가 존재하게 되면 노드 모델은 매우 복잡해진다. 무선 신체망의 동작에 따라 오동작 노드의 수를 계산하여 넣으므로써, 노드의 상태 공간 S 를 오동작 노드의 수로 정의 한다.

$$S \equiv \{C(\text{cooperative}), F(\text{failed}), M(\text{malicious})\}$$

그리고 노드 NR에 대해서, $S \equiv \{C(\text{cooperative}), F(\text{failed}), R(\text{route}), S(\text{selfish}), R(\text{route})\}$ 로 정의 한다.

싱크 노드 NG에 대한 S 는 $S \equiv \{C(\text{cooperative}), F(\text{failed})\}$ 로 정의 한다. 그리고 노드의 상태 변환을 $\{F(t)\}$ 로 하여 확률적으로 표현한다.

$t_0 = 0, t_1, t_2, \dots, (t_n < t_{n+1})$ 구간에서 순간 천이가 발생한다.

그림 1-3에서 천이 동작과 시간 간격에 대한 예제를 보여준다. 그림 1에서 Y축에서 상태는 각각의 상태와 X축에서 반감기에 상응한다. 예를 들어, 그림 1에서 라인 'a' 는 시간 간격(T_n, T_{n+1}) 기간에 노드 s는 협동 상태 안에 있다는 것을 의미 한다. 상태 천이가 순간적으로 발생한다. 예를 들어, 시간 t_{n+1} 에서 노드는 C에서 M으로 상태가 천이 되었다는 것을 나타낸다.

노드의 다음의 동작은 현재의 노드의 동작에 따라서 달라지지만, 이전의 X_n 상태 일 때는 예외다. 만약 X_n 이 T_n 시간에 발생한 천이라면 아래 수식을 얻을 수 있다.

$$\Pr(X_{n+1} = X_{n+1} | s_0, \dots, X_n = x_n) = \Pr(X_{n+1} = x_{n+1} | X_n = x_n) \quad (2)$$

여기서, $x_i \in S$ 는 X_i 의 가능한 값은 S의 가산의

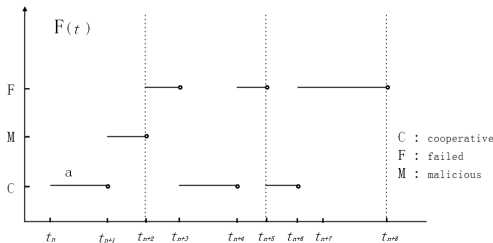


그림 1. 라우트 기능이 없는 노드의 상태 천이 견본

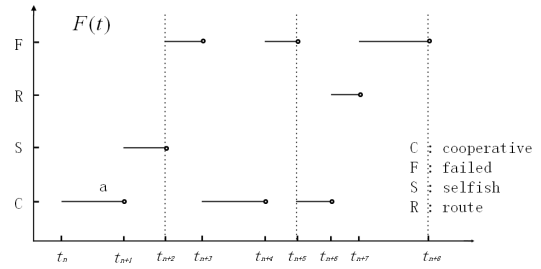


그림 2. 라우트 기능을 가진 상태 천이 견본

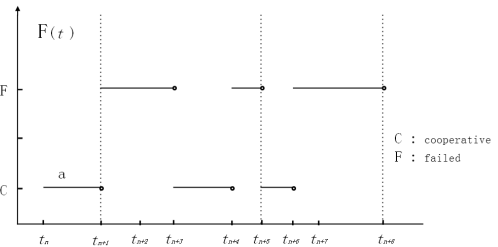


그림 3. 싱크노드의 상태 천이 견본

값의 형성을 나타낸다.

세미 마르코프 체인은 현재 상태에 따른 미래의 추측과 현 상태에서 유지된 시간을 계산 할 때 사용된다. 이 모델에서, 다음 동작은 현재 동작 상태에서 얼마나 오래 동안 상태 유지 되었는가에 따라 달라진다. 그리고 상태가 변하게 되면 이전의 상태에 대한 메모리는 변화된다. 이 메모리 상태 변화에 따라 노드의 행동의 전개 특성을 파악 할 수 있다. 노드 상태에 대한 확률 처리 $\{F(t)\}$ 는 아래와 같이 정의 될 수 있다.

$$F(t) = X_n, \forall t_n \leq t \leq \forall t_{n+1} \quad (3)$$

$\{F(t)\}$ 는 세미-마르코 프로세스로 정의 하고^[15], 그리고 $\{X_n\}$ 은 임베디드 마르코프 체인이라고 부른다. X_n 는 시간 T_n 에 발생한 천이에 있어 프로세스의 상태를 나타내고, $F(t)$ 는 마지막에 발생한 천이까지의 그 기간 동안에 프로세스의 상태를 나타낸다. 상태 i에서 상태 j로의 천이될 확률(p_{ij})은 아래 정의된다.

$$p_{ij} = \lim_{t \rightarrow \infty} \Pr(X_{n+1} = j, t_{n+1} - t_n \leq t | X_n = i) = \Pr(X_{n+1} = j | X_n = i) \quad (4)$$

그리고 하나의 행렬 $\bar{P} = (p_{ij})$ 은 X_n 에 대한 천이

확률 행렬이다. \bar{P} 의 수행은 실험에 근거를 둔 결과 값에 대한 통계에 의해 결정 할 수 있다. 무선 신체 망에서 존재 하는 노드 동작의 특징은 다음과 같다.

- 협동 노드는 전력의 완전 소비하거나, 신체의 외부 영역에서 멀어지거나 하는 등등의 여러 가지 이유로 인해 오류 노드 또는 악의적인 노드가 될 수도 있다. 라우트 기능을 가진 노드는 센서의 오류 또는 전력 소비에 따라서 루트 노드 또는 이기적인 노드가 될 수 있다.
- 하나의 오류 노드는 무선 신체 망에서 동작 하지 않는다. 하지만 만약 이 노드가 전력을 회복 하거나 재부팅 된다면 오류 노드는 협동 노드가 될 수도 있다.
- 이기적인 노드는 다른 노드로 패킷을 보낼 수 있다. 하지만 이 노드를 재구성한다면 이기적인 노드에서 협동 노드로 변화 될 수도 있다. 그리고 이기적인 노드도 또는 전력이 완전 소비 되었을 때 오류 노드로 될 수도 있다. 하지만 이 노드는 스스로 라우트 노드가 될 수는 없다.
- 오직 악의적인 노드만이 오류노드가 될 수 있다.
- 라우트 노드는 다른 노드로 메시지를 보낼 수 있다. 하지만 이 노드는 생체 신호를 얻을 수는 없다. 이 노드를 재구성하기 위해 협동노드로 변화 될 수 있다. 이 노드는 오류노드로 변화 될 수 없다.

위의 노드 동작을 고려하여 $\{X_n\}$ 의 천이 확률 행렬 아래와 같이 구할 수 있다.

노드 NO에 대해 :

$$\bar{P} = \begin{bmatrix} 0 & p_{cn} & p_{cf} \\ 0 & 0 & p_{mf} \\ p_{fc} & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (5)$$

노드 N에 대해 :

$$\bar{P} = \begin{bmatrix} 0 & p_{cs} & p_{cr} & p_{cf} \\ p_{sc} & 0 & 0 & p_{sf} \\ p_{rc} & 0 & 0 & p_{rf} \\ p_{fc} & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (6)$$

싱크노드 NG에 대해 :

$$\bar{P} = \begin{bmatrix} 0 & p_{cf} \\ p_{fc} & 0 \end{bmatrix} \quad (7)$$

행렬에서 “0”은 두 상태사이에서 천이를 발생 가능성이 없다는 것을 의미 한다. (6)에서의 예제와 같이, $P_{rs}=0$ 인 라우트 노드는 이기적인 노드가 될 수 없다는 것을 의미 한다. $\{F(t)\}$ 는 두 상태가 연속으로 천이하는 시간 분산과 관련이 있다. T_{ij} 는 주어진 상태 i에서 다음 상태 j로 천이하는 동안의 시간을 나타낸다. 그리고 $F_{ij}(t)$ 는 일반적으로 T_{ij} 의 누적 분포함수(Cumulative Distribution Function)를 위해 표기되어 사용된다. F_{ij} 는 아래와 같이 정의 된다.

$$F_{ij}(t) = \Pr(T_{ij} \leq t) = \Pr(t_{n+1} - t_n \leq t | X_n = i, X_{n+1} = j) \quad (8)$$

여기서 $i, j \in S$ 이고, 세미-마르코프 노드 모델의 상태 천이 다이어그램은 그림 4~6에 나타나 있다. 그림 4~6에 나타난 상태는 C(Cooperative), S(selfish), M(malicious), F(failed), R(route)로 분류한다. 그리

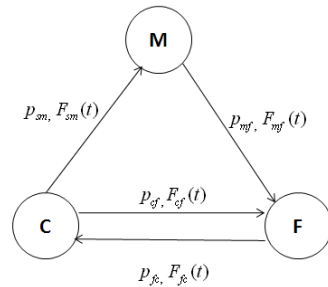


그림 4. 라우트 기능이 없는 노드에 대한 세미 마르코프 모델

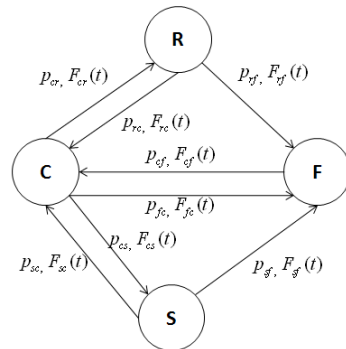


그림 5. 라우트 기능을 가진 노드에 대한 세미 마르코프 모델

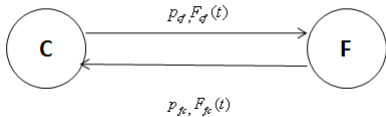


그림 6. 싱크노드에 대한 세미-마르코프 모델

고 $F(t)$ 는 특정 상태 i 에 있을 때 확률을 계산 할 수 있다.

$$P_i = \lim_{t \rightarrow \infty} P(F(t) = i | F(0) = j), i, j \in S \quad (9)$$

본 논문에서는 제한 분류의 실재를 다음과 같이 증명한다.

보조정리 1: $\{F(t)\}$ 의 임베디드 마르코프 체인인 X_i 는 기약(irreducible) 또 이 분류 내에서 노드의 상태는 순환한다(ergodic).

증명. 이전 세션으로부터 X_i 는 유한 상태 공간 S , X_i 에 놓여있음을 알았다. 각각의 상태는 유한 단계 내에서 다른 상태로 변화 할 수 있다. 그래서 X_i 는 기약이고, 노드의 상태는 순환한다. ■

보조정리 2: 세미 마르코프 $\{F(t)\}$ 는 기약(irreducible)이고, 정 순환한다(positive recurrent).

증명. [16]에서 SMP(따름정리 9-1)와 임베디드 MC에 의해서 프로세스의 진술은 기약임을 알 수 있다. 보조정리 1로부터 X_i 가 기약임이 증명 되었고, 이 증명으로 인해 $\{F(t)\}$ 또한 기약임을 알 수 있다. 제안된 모델로부터 η_i 이 상태 i 에서 필요한 홀딩 시간이 있기 때문에 $\eta_i < \infty$ 임을 알 수 있다. 그리고 η_{ij} 은 i 에서 j 로 요구 천이시간이 있기 때문에 $\eta_{ij} < \infty$ 임을 알 수 있다. [16]에 있는 9-2 정리에 의해 $F(t)$ 은 정순환 함을 알 수 있다. ■

정리 1: $\{F(t)\}$ 식 도출을 위해 수식 10식에서 \bar{P} 과 $F_{ij}(t)$ 에 의해 결정된 제한 확률 분포(limiting distribution probability)는 주어진 상태에 대해 존재 한다.

증명. 전제2에 따르면, $\{F(t)\}$ 과정은 더 이상 분

해 할 수 없고 또 정순환 한다. 제한 분류 확률에 대한 존재는 증명된다^[15]. ■

[16]에서 이론 9-3을 이용하여 (10)으로 부터 아래의 식이 도출된다.

$$p_i = \lim_{x \rightarrow \infty} P(F(t) = i | F(0) = j) = \frac{\pi_i \eta_i}{\sum_{k \in S} \pi_k \eta_k} \quad (10)$$

여기서 π_i 는 X_i 의 상태 i 의 고정된 확률이다.

IV. 시뮬레이션과 분석

위 부분에서 언급하였듯이 무선 신체 망에서 네트워크 신뢰성에 있어 오동작 노드의 영향을 시뮬레이션 결과로서 증명하였다. 이를 증명하기 위해서 NS2-v2.33(Network Simulator)를 사용하였다. 시뮬레이션에서 사용한 응용은 CBR(Constant Bit Rate) 트래픽을 사용 하였고, 링크의 용량은 10Kbps-10Mbps로 범위 설정하여 시뮬레이션을 수행하였다. 이전에 서술, 증명된 사항에 대해 평가 및 증명을 하기 위해 NS2를 수정하였다. 총 시뮬레이션 수행시간은 안정된 상태의 시스템 내에서 제안된 모델을 증명하기 위해 1000초로 설정 하였다. 이외에 시뮬레이션에서 설정한 네트워크 파라미터에 대해 표 1에 서술 하였다. 시뮬레이션 수행 결과에서 노드 오작동이 여러 형태를 나타내고 고정된 결과 값에 의한 결과를 피하기 위해 다양한 방법을 사용하여 랜덤하게 노드의 오작동을 수행 되도록 하였고, 이에 얻어진 결과 값의 평균으로 시뮬레이션 결과를 도출 하였다.

노드의 생존 가능성을 계산하기 위해, 트래픽을 사용하였다. 이 트래픽은 센서 노드에서 발신하여

표 1. 시뮬레이션에서 네트워크 설정

파라미터	설정 값
시뮬레이션 영역	신체
시스템 크기	20-30 노드
전송 거리	2m
링크 용량	10Kbps-10Mbps
시뮬레이션 수행시간	1000s
어플리케이션 종류	CBR

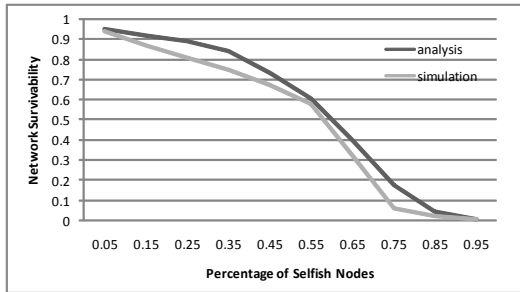


그림 7. 이기적인 노드가 네트워크 생존가능성에 미치는 영향
싱크노드로 수신되는 응용을 사용하였다.

그림 7에서 네트워크 내에서 이기적인 노드 (selfish node)의 생존 가능성에 대해서 보여 주고 있다. 이 그림 7에서 보는 것과 같이 커브는 점점 더 많은 이기적인 노드가 존재 할 때 생존 가능성이 감소하는 것을 알 수 있다. 이러한 결과로부터 전체 노드 중 이기적인 노드가 차지하는 낮은 비율이 낮을 경우 생존가능성에서는 급격히 변화하지 않음을 확인할 수 있다. 이기적인 노드가 차지하는 비율이 작기 때문에 새로운 라우트 노드를 쉽게 찾을 수 있다. 이기적인 노드의 확률이 15% 미만일 경우 네트워크의 생존가능성은 90%이상이다.

그림 8은 네트워크 생존 가능성에 대한 협동노드의 영향을 보여준다. 정확한 협동노드의 영향을 관찰하기 위해서 회복시간을 “0”로 설정했다. 이기적인 노드와 라우트 노드에 따른 협동노드의 확률이 달라지기 때문에 싱크 결함을 “0”으로 설정하였다.

네트워크 생존가능성은 협동노드의 확률이 가장 낮을 때 매우 낮게 나타난다. 즉 협동 노드는 네트워크 생존성에 있어서 많은 영향을 준다. 45%~50%의 협동노드로 구성될 때 네트워크 생존가능성은 급격히 상승하였음을 확인할 수 있다.

그림 9에서 싱크 노드(NG) 결함에 대한 영향을 살펴보기 위해 다른 노드는 무작위로 설정하고 싱

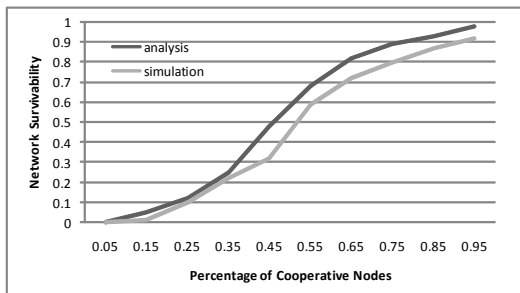


그림 8. 협동노드가 네트워크 생존가능성에서 미치는 영향

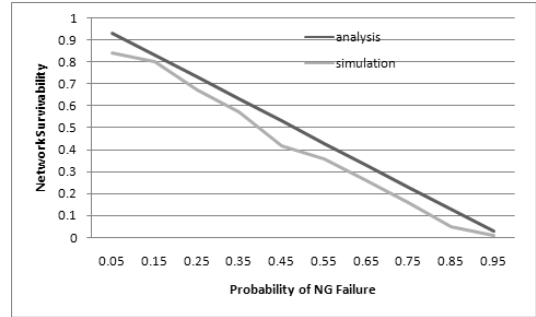


그림 9. 싱크노드의 오류가 네트워크 생존가능성에 미치는 영향

크 노드를 할당 하였다. 싱크노드는 무선 신체 망에서 중요한 컴포넌트이다.

이 싱크노드는 전체 네트워크 생존 가능성에 영향을 준다. 그림 9에서 보는 것과 같이 시뮬레이션에서 네트워크의 생존가능성은 분석 된 것 보다 더 낮다. 이 결과는 시뮬레이션 환경에 있어서 패킷 분실과 시간 지연을 포함시켰기 때문이다. 그리고 싱크 결함의 생존가능성이 0.85보다 더 클 때 네트워크 생존가능성은 거의 0에 가깝게 나타난다. 고성능 처리를 위해 필요로 하는 싱크 노드는 네트워크의 생존가능성에 많은 영향을 미친다.

V. 결 론

본 논문에서는 무선 신체 망에서 네트워크 내에 오동작 노드를 연구하는 분석 프레임 워크를 전개하였다. 본 논문은 네트워크 내에서 오동작노드의 분석과 모델링에 초점을 두고 있다. 이와 같은 연구는 현재 많은 연구가 필요하다. 네트워크에서 노드는 기능별로 두 가지 형태로 분류 하였다. 그리고 오동작 노드는 노드의 타입과 노드 동작의 기능에 따라 분류 하였다. 세미 마르코프 프로세스는 노드의 동작의 천이를 분석하기 위해서 사용하였다. 제안된 모델에서, 무선 신체 망에 있어 노드는 천이 확률과 더불어 노드의 상태가 천이 한다. 예를 들어 협동노드, 오류노드, 이기적인 노드, 그리고 라우트 노드로 천이 할 수 있다.

이와 같은 연구 방향의 시도는 무선 신체 망과 관련하여 네트워크 내에 유발되는 오동작 노드의 모델로 다루어지고, 또한 이 연구는 무선신체망의 신뢰성을 분석하는데 매우 유용하다. 추가 연구는 무선 신체망에 존재하는 노드들의 오류와 노드의 성능에 대한 모델에 대해 연구 되어 져야 한다.

참 고 문 헌

- [1] F. Xing and W. Wang, "Modeling and Analysis of Connectivity in Mobile Ad Hoc Networks with Misbehaving nodes," IEEE, ICC Vol. 4, pp. 1879-1884, June, 2006.
- [2] Jain, V. and Jain, M., "Queuing network model for link and path availability of ad hoc networks," Wireless and Optical Communications Networks, International Conference on, pp. 1-5, 2006.
- [3] M. M. Rao, Stochastic Processes: General Theory, 1995.
- [4] Vlad Barbu, Nikolaos, "Semi-Markov Chains and Hidden Semi-Markov Models toward Applications, Their Use in Reliability and DNA Analysis," 2008.
- [5] K. Takizawa, T. Aoyagi, Li Huan Bang, J. Takada, T. Kobayashi and R. Kohna, "Path loss and power delay profile channel models for wireless body area networks," Antennas and Propagation Society International Symposium, IEEE, pp. 1-4, 2009.
- [6] J. Ryckaert, C. Desset, A. Fort, M. Badaroglu, V. De Heyn, P. Wambacq, G. Van der Plas, S. Donnay, B. Van Poucke, B. Gyselinckx, "Ultra-Wide-Band Transmitter for Low-Power Wireless Body Area Networks: Design and Evaluation," Circuits and Systems, IEEE Transactions on, Dec 2005, pp. 2515-2525.
- [7] G.G. Wang, J. Chen, G. J. Wang, "Probabilistic analysis of connectivity on mesh networks," Information Technology 2003, ITCC International Conference on, pp. 362-366, April, 2003.
- [8] G.G. Wang, J. Chen, G. J. Wang, S. Q. Chen, "Probabilistic Model for Faults in Large-Scale Multicomputer System" Test Symposium, 2003, ATS2003, 12th Asian, pp. 452-457, Nov., 2003.
- [9] ShihHeng Cheng, ChingYao Huang, "Power model for wireless body area network," Information Networking, 2009, ICOIN2009, International Conference on, pp. 1-5, Jan., 2009.
- [10] Xin Liu, Myint Wai Phyu, Yisheng Wang, Bin Zhao, Yuanjin Zheng, "An ultra low power baseband transceiver IC for wireless body area networks," Medical Devices and Biosensors, 2008ISSS, pp. 231-234, June, 2008.
- [11] Jae Myeong Choi, Heau-Jo Kang, Yong-Seok Choi, "A study on the Wireless Body Area Network Applications and Channel Models," Future Generation Communication and Networking, FGCN International Conference on, 2008.
- [12] K. Takizawa, T. Aoyagi, and R. Kohno, "Channel Modeling and Performance Evaluation of UWB-based Wireless Body Area Networks," Communications. 2009 ICC '09. IEEE International Conference on, Page(s):1-5, 14-18 June, 2009.
- [13] B. Braem, B. Latre, I. Moerman, C. Blondia, P. Demeester, "the Wireless autonomous Spanning tree protocol for Multihop Wireless Body Area Networks," in Conf. 3th annu. MobiQuitous, pp. 1-8, 2006.
- [14] O. Omeni, A. Wong, A. J. Burdett, "Energy Efficient Medium Access Protocol for Wireless Medical Body Area Sensor Networks," IEEE Trans. Biomedical Circuits and Systems, Vol. 2, No. 4, 2008.
- [15] M. M. Rao, Stochastic Processes: General Theory, 1995.
- [16] D. Heyman and M.Sobel, "Stochastic Models in Operations research," McGraw-Hill, 1982.
- [17] F. Xing and W. Wang, "modeling and analysis of Connectivity in Mobile Ad Hoc Networks with Misbehaving Nodes," IEEE ICC Vol. 4, pp. 1879-1884, June, 2006.

왕 송 (Wang Song)

준회원



2007년 2월 Shan Dong University, China(공학사)

2009년 2월~현재 경북대학교 전자전기컴퓨터학부(석사과정)

<관심분야> next-generation network management, wireless body area network and ubiquitous sensor networks

천 승 만 (Seung-Man Chun)

준회원



2008년 2월 동양대학교 전자공학부 (공학사)
2008년 3월~현재 경북대학교 전자전기컴퓨터학부(석사과정)
<관심분야> U-healthcare networking, ubiquitous sensor network, 이동통신, 통신 소프트웨어

박 종 태 (Jong-Tae Park)

중신회원



1978년 2월 경북대학교 전자공학과 (공학사)
1981년 2월 서울대학교 전자공학과 (공학석사)
1987년 8월 Univ. of Michigan, EECS (공학박사)
1989년~현재 경북대학교 전자공학과 교수
2000년~2003년 IEEE Technical Committee on Information Infrastructure(TCII) 의장
1988년~1989년 삼성전자 컴퓨터시스템 사업부 수석연구원
1987년~1987년 미국 AT&T Bell 연구소 연구위원
1984년~1987년 미국 CITI 연구원
<관심분야> U-헬스케어, 이동통신, 통신 소프트웨어, 차세대 통신망운용, 네트워크 보안